

PUBLICATION NUMBER : 2002004008  
PUBLICATION DATE : 09-01-02

APPLICATION DATE : 14-06-00  
APPLICATION NUMBER : 2000179029

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : KONO YOSHIORI;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/32 C22C 38/54

TITLE : HIGH Cr FERRITIC HEAT RESISTANT STEEL

2.5×(Nb+1/2Ta)0.15-0.6×(Nb+1/2Ta)-(Mo+1/2W)>0... (1)  
Nb+1/2Ta<3.5... (2)

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide high Cr ferritic heat resistant steel excellent in high temperature long time creep strength so as to withstand use in high temperature steam of  $\geq 625^{\circ}\text{C}$  and toughness.

SOLUTION: This heat resistant steel has a composition containing  $\leq 0.12\%$  C,  $\leq 1\%$  Si,  $0.05$  to  $1.5\%$  Mn,  $\leq 0.03\%$  P,  $\leq 0.015\%$  S,  $8$  to  $15\%$  Cr,  $0.2$  to  $3\%$  Nb,  $\leq 4\%$  Ta, one or two kinds of  $0.02$  to  $4\%$  W and  $0.01$  to  $2.5\%$  Mo,  $0.001$  to  $0.1\%$  N,  $0.0001$  to  $0.01\%$  B and  $0.001$  to  $0.05\%$  Al, if required, containing one or more kinds selected from Co, Ni, Cu, V, Nd and Ti, and the balance Fe with impurities, in which the contents of Nb, Ta, W and Mo also satisfy the following inequality (1), and the contents of Nb and Ta further satisfy the following inequality (2):  $2.5\times(Nb+1/2Ta)0.15-0.6\times(Nb+1/2Ta)-(Mo+1/2W)>0$ ... (1), and  $Nb+1/2Ta<3.5$ ... (2).

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-4008

(P2002-4008A)

(43)公開日 平成14年1月9日 (2002.1.9)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
C 22 C 38/00  
38/32  
38/54

識別記号  
3 0 2

F I  
C 22 C 38/00  
38/32  
38/54

テ-マコト<sup>\*</sup>(参考)

3 0 2 Z

審査請求 未請求 請求項の数4 O.L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2000-179029(P2000-179029)

(22)出願日 平成12年6月14日 (2000.6.14)

(71)出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72)発明者 吉澤 満

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(72)発明者 河野 佳織

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(74)代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 高Crフェライト系耐熱鋼

(57)【要約】

【課題】625°C以上の高温蒸気下の使用に耐える高温長時間クリープ強度と韌性に優れた高Crフェライト系耐熱鋼の提供。

【解決手段】C: 0.12%以下、Si: 1%以下、Mn: 0.05~1.5%、P: 0.03%以下、S: 0.015%以下、Cr: 8~15%、Nb: 0.2~3%、Ta: 4%以下、およびW: 0.02~4%とM

○: 0.01~2.5%のうちの1種または2種、N: 0.001~0.1%、B: 0.0001~0.01%、Al: 0.001~0.05%、必要によりCo、Ni、Cu、V、Nd、Tiの1種以上を含有し、残部がFeおよび不純物からなり、かつNb、Ta、WおよびMo含有量が下記式(1)を、またNb、Taの含有量が下記式(2)を満足する耐熱鋼。

$$2.5 \times (Nb + 1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb + 1/2Ta) - (Mo + 1/2W) > 0 \quad \dots \quad (1)$$

$$Nb + 1/2Ta < 3.5 \quad \dots \quad (2)$$

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】質量%で、C: 0.12%以下、Si: 1%以下、Mn: 0.05~1.5%、P: 0.03%以下、S: 0.015%以下、Cr: 8~15%、Nb: 0.2~3%、Ta: 4%以下、およびW: 0.02~4%とMo: 0.01~2.5%のうちの1種または2種以上を含有する高Crフェライト系耐熱鋼。  

$$2.5 \times (Nb+1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb+1/2Ta) - (Mo+1/2W) > 0 \quad \dots \quad (1)$$
  

$$Nb+1/2Ta < 3.5\% \quad \dots \quad (2)$$

ここで、式中の元素記号は各元素の含有量（質量%）を示すものとする。

【請求項2】Feの一部に替えて、V: 0.01~0.5%、Ti: 0.001~0.1%およびNd: 0.01~0.2%のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1に記載の高温強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼。

【請求項3】Feの一部に替えて、Co: 0.01~6%、Ni: 0.01~1%およびCu: 0.01~2%のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1および2のいずれかに記載の高温強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼。

【請求項4】Feの一部に替えて、Ca: 0.02%以下、La: 0.2%以下、Ce: 0.2%以下、Y: 0.2%以下およびHf: 0.2%以下のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1、2、3および4のいずれかに記載の高温強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高Crフェライト系耐熱鋼に係わり、さらに詳しくはボイラ、原子力発電設備および化学工業設備などの高温、高圧環境下で使用される熱交換用鋼管、圧力容器用鋼板およびタービン材料等に適した高温長時間クリープ強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ボイラ、原子力発電設備および化学工業設備等の高温、高圧環境で使用される耐熱鋼には、一般に高温における強度、耐食性および耐酸化性等が要求される。

【0003】これらの用途には、従来JISのSUS321H、SUS347H鋼などのオーステナイト系ステンレス鋼、2·1/4Cr-1Mo鋼などの低合金鋼、さらには9~12Cr系の高Crフェライト鋼が用いられてきた。なかでも、高Crフェライト鋼は500°C~650°Cの温度において、強度および耐食性の点で低合金鋼よりも優れている。また、高Crフェライト鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼に比べて安価であること、熱伝導率が高く、かつ熱膨張率が小さいことから耐熱疲労特性やスケール剥離が起こりにくいこと、さらには応力腐食割れを起こさないことなど数々の利点があ

る。種、N: 0.001~0.1%、B: 0.0001~0.01%、sol.A1: 0.05%以下を含有し、残部がFeおよび不純物からなり、かつNb、Ta、WおよびMoの含有量が下記式(1)を、またNb、Taの含有量が下記式(2)を満足することを特徴とする高温強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼。

$$2.5 \times (Nb+1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb+1/2Ta) - (Mo+1/2W) > 0 \quad \dots \quad (1)$$

$$Nb+1/2Ta < 3.5\% \quad \dots \quad (2)$$

る。

【0004】近年、火力発電において熱効率の一層の向上を図るため、ボイラーの蒸気条件の高温高圧化が進められている。すなわち、超臨界圧条件である538°C、246気圧から、将来は625°Cで300気圧というような超々臨界圧条件での操業が計画されている。このような蒸気条件の変化に伴い、ボイラ用钢管等に対する要求性能は、ますます過酷化してきている。そのため、従来の高Crフェライト鋼では上記のような高温における長時間クリープ強度に対して充分に応えることができない状況に至っている。

【0005】オーステナイト系ステンレス鋼は上記のような過酷な条件に応えることができる性能を備えているが高価である。そのためオーステナイト系ステンレス鋼に比べて安価な高Crフェライト鋼を使用すべく、その特性改善の試みがなされている。高Crフェライト鋼には従来Moが添加されてきたが、クリープ強度を向上させるため、Moの一部もしくは全部をWで置換した鋼が開発されている。

【0006】具体的にはW添加量を高めた高Cr耐熱鋼（特開平5-311342号公報）、W添加量を高め、さらに高温耐水蒸気酸化性改善の観点からCuを添加した耐熱鋼（特開平3-97832号公報）などが開示されているが、長時間クリープ強度が低下し不安定となり、またWの過剰添加により韌性、溶接性が劣化するという問題がある。

【0007】火力発電ボイラ等の蒸気条件が前記した超々臨界圧条件での高Crフェライト鋼の使用に対しては、さらなるクリープ強度の向上が必要であり、そのためには焼戻し軟化抵抗を高めマルテンサイト組織の回復軟化現象ができるだけ高温長時間側まで遅らせることが重要である。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、625°C以上の高温蒸気下の使用に耐える高温長時間クリープ強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼を提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、超超臨界圧条件下での使用に耐える高温長時間クリープ強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼を開発するため、Moの一部または全部をWで置換したNbを含有する高Crフ

エライト系耐熱鋼に注目し、析出物、高温長時間クリープ特性を詳細に調査、検討した。その結果下記の知見を得るに至った。Mo、Wに置換してNbまたはNb+Ta含有量を高め、かつ下記式を満足させ、C含有量を適正にすることにより、旧オーステナイト粒界、マルテンサイトラス界面およびラス内部にNbまたはNb、Taの金属間化合物が高温長時間側まで微細に析出し、その結果マルテンサイト組織回復軟化現象が高温長時間側まで抑制され、長時間クリープ強度が大幅に向上する。

## 【0010】

$$2.5 \times (Nb + 1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb + 1/2Ta) - (Mo + 1/2W) > 0$$

本発明は、上記知見に基づきなされたもので、その要旨

$$2.5 \times (Nb + 1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb + 1/2Ta) - (Mo + 1/2W) > 0 \dots \dots (1)$$

$$Nb + 1/2Ta < 3.5 \dots \dots (2)$$

ここで、式中の元素記号は各元素の含有量（質量%）を示すものとする。

(2) Feの一部に替えて、V: 0.01~0.5%、Ti: 0.001~0.1%およびNd: 0.001~0.2%のうちの1種または2種以上を含有する上記(1)に記載の高Crフェライト系耐熱鋼。

【0011】(3) Feの一部に替えて、Co: 0.01~6%、Ni: 0.01~1%およびCu: 0.01~2%のうちの1種または2種以上を含有する、上記(1)および(2)のいずれかに記載の高Crフェライト系耐熱鋼。

【0012】(4) Feの一部に替えて、Ca: 0.02%以下、La: 0.2%以下、Ce: 0.2%以下、Y: 0.2%以下およびHf: 0.2%以下のうちの1種または2種以上を含有する、上記(1)、(2)、(3)および(4)のいずれかに記載の高Crフェライト系耐熱鋼。

## 【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の耐熱鋼の化学組成を限定した理由について説明する（以下の%表示はすべて質量%を示す）。

## 【0014】C: 0.12%以下

Cは、オーステナイト安定化元素であり、組織を安定化するとともにMC（Mは合金元素）炭化物を形成してクリープ強度の向上にも寄与する。しかし0.12%を超えて多量に含有させると加工性や溶接性を劣化させるとともに、炭化物の析出量が増加し、金属間化合物の析出が不十分となり長時間クリープ強度の低下を招くため上限を0.12%以下にした。望ましくは0.1%以下、さらに望ましくは0.07%以下である。

## 【0015】Si: 1%以下

Siは、溶鋼の脱酸剤として用いる。さらに、Siは高温における耐水蒸気酸化特性の向上に対して有効であるが、1%を超えて多量に含有させると韌性の劣化、クリープ強度の低下が著しいため上限を1%とした。特に耐水蒸気酸化を重視する場合にはSi量の下限は0.1%

は、

(1) 質量%で、C: 0.12%以下、Si: 1%以下、Mn: 0.05~1.5%、P: 0.03%以下、S: 0.015%以下、Cr: 8~15%、Nb: 0.2~3%、Ta: 4%以下、およびW: 0.02~4%とMo: 0.01~2.5%のうちの1種または2種、N: 0.001~0.1%、B: 0.0001~0.01%、sol.A1: 0.05%以下を含有し、残部がFeおよび不純物からなり、かつNb、Ta、WおよびMoの含有量が下記式(1)を、またNb、Taの含有量が下記式(2)を満足する高温強度に優れた高Crフェライト系耐熱鋼。

$$Nb + 1/2Ta < 3.5 \dots \dots (2)$$

とするのが望ましい。

## 【0016】Mn: 0.05~1.5%

Mnは、脱酸およびSを固定する元素として有効で、オーステナイト安定化元素としても寄与する。それらの効果を得るためにには0.05%以上必要であるが、1.5%を超えるとクリープ強度の低下を招くため0.05~1.5%とした。

## 【0017】P: 0.03%以下、S: 0.015%以下

不純物のPおよびSは、熱間加工性、溶接性および韌性の観点からは低い方が望ましいが、それぞれ0.03%、0.015%までであれば本発明鋼の特性に直接影響しないため、上限をそれぞれ0.03%および0.015%とした。

## 【0018】Cr: 8~15%

Crは、本発明鋼の高温における耐食性や耐酸化性、特に耐水蒸気酸化特性を確保するために不可欠な元素である。さらには、炭化物を形成してクリープ強度を向上させる。その他、Cr主体の緻密な酸化被膜を形成して耐食性および耐酸化性を向上させる作用があり、それらの効果を得るために8%以上とする必要がある。しかし、多量に含有させると韌性の劣化をもたらすと共に、長時間クリープ強度の低下を招くため上限を15%とした。望ましくは9~12%である。

## 【0019】Nb: 0.2~3%、Ta: 4%以下

Nbは、本発明鋼の主要な強化元素の一つである。Nbは、高温で使用中に金属間化合物として微細に分散析出し、長時間クリープ強度の向上に寄与する。さらには、C、Nと微細な炭窒化物を形成して、クリープ強度の向上に寄与する。その効果を発揮させるためには、0.2%以上必要であるが、多量に含有させるとフェライトの生成を促進し、長時間クリープ強度の低下を招くため含有量を0.2~3%とした。望ましくは0.5~2%である。TaはNbと同様、高温で使用中に金属間化合物として微細に分散析出し、長時間クリープ強度の向上に寄与する。Taは、Nbと複合で含有させることに

より、金属間化合物の析出量の増加および金属間化合物の均一分散に寄与するので必要により含有させる。Taは、さらにC、Nと微細な炭窒化物を形成して、クリープ強度の向上に寄与する。含有させる場合は、0.002%以上含有させるのが好ましく、多量に含有させると $\delta$ フェライトの生成を促進、クリープ強度が劣化するため含有量の上限を4%とした。

【0020】NbおよびTaは、ともに多量に含有すると $\delta$ フェライトの生成促進、金属間化合物の凝集粗大化を招くので、Nb+1/2Ta<3.5とする必要がある。

【0021】W: 0.02~4%、Mo: 0.01~2.5%の1種以上または2種

WおよびMoは、固溶強化元素としてクリープ強度の向上に寄与するとともに、金属間化合物の析出量、析出形態の制御に有効である。Wは、0.02%未満、Moは0.01%未満ではその効果は現れない。また、Wは4%を超えて多量に含有すると $\delta$ フェライトの生成を促進し、クリープ強度が劣化するため、Wの含有量は0.02~4%とした。また、Moは2.5%を超えて含有すると金属間化合物が粗大に析出し、長時間クリープ強度の低下を招く。したがって、Moの含有量は0.01~2.5%とした。Nb、Taの含有量を高め、W、Moを低めるのが好ましく、望ましい含有量は、Wは0.5~2.5%、Moは0.1~0.5%である。

【0022】

$2.5 \times (Nb + 1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb + 1/2Ta) - (Mo + 1/2W) > 0$ : Nb、Ta、MoおよびWは、いずれも上記範囲内の量で含有させることにより、Nb+1/2Taを1%以上含む金属間化合物が微細に析出してクリープ強度を改善する。金属間化合物中のNb+1/2Taが1%未満の場合もしくはこれらの元素が下記式を満たさない場合は、金属間化合物の粗大化が顕著となり長時間クリープ強度が低下する。この式は、種々の試験により得られた実験式である。

【0023】

$2.5 \times (Nb + 1/2Ta)^{0.15} - 0.6 \times (Nb + 1/2Ta) - (Mo + 1/2W) > 0$ : N: 0.001~0.1%

Nは、Cと同様オーステナイト安定化元素として有効である。また、Nは窒化物または炭窒化物を析出させ、高温強度を高める。その効果を発揮させるためには0.01%以上必要であるが、0.1%を超えると窒化物、炭窒化物の粗大化によるクリープ強度の低下をもたらすため0.001~0.1%とした。

【0024】B: 0.0001~0.01%

Bは、焼入れ性を高め、高温強度の確保に重要な役割を果たす。その効果は0.0001%以上で顕著となるが、0.01%を超えて含有させると溶接性を悪化させるとともに長時間クリープ強度を低下させるため、B含有量は0.0001~0.01%とした。

【0025】sol. A 1: 0.05%以下

A 1は、溶鋼の脱酸剤として必要に応じて添加する。しかし、添加する場合0.05%を超えて多量に含有せるとクリープ強度の低下を招くので、上限を0.05%とした。

【0026】V: 0.01~0.5%、Ti: 0.001~0.1%、Nd: 0.001~0.2%のうちの1種または2種以上

V、TiおよびNdは、固溶強化および微細な炭窒化物を形成してクリープ強度の向上に寄与するので、必要により含有させる。その効果を発揮させるためには、Vは0.01%以上、TiおよびNdは0.001%以上含有させるのが望ましい。

【0027】また、Vは0.5%を超えて含有せるとクリープ強度が低下するためVの上限は、0.5%とした。Tiは、0.1%を超えて、Ndは0.2%を超えて含有させてもその効果は飽和するため上限をそれぞれ0.1%および0.2%とした。

【0028】Co: 0.01~6%、Ni: 0.01~1%、Cu: 0.01~2%のうちの1種または2種以上

Co、NiおよびCuは、オーステナイト安定化元素として有効であり、必要により含有させる。Cr、Nb、W、MoおよびVなどを多量に含有させる場合には積極的に添加するのが好ましい。ただし、各元素とも0.01%未満の含有量ではその効果は現れない。また、Coは6%を超えて過剰に含有せると鋼のAc1変態点の低下が著しくなり、逆にクリープ強度が低下する。したがって、Coの上限は6%とした。Niは1%を、Cuは2%を超えて過剰に含有せると長時間クリープ強度の低下が著しくなる。したがって、NiおよびCuの上限はそれれ1%と2%とした。

【0029】Ca: 0.02%以下、La: 0.2%以下、Ce: 0.2%以下、Y: 0.2%以下、Hf: 0.2%以下のうちの1種または2種以上

Ca、La、Ce、YおよびHfは、極微量の含有量でも結晶粒界を強化させてクリープ強度を向上させるとともに、熱間加工性の向上にも寄与する効果があり、必要により含有させる。しかし、過剰に添加すると熱間加工性が低下するため、これらの元素の上限はCaは0.02%、La、Ce、YおよびHfはそれぞれ0.2%とした。

【0030】

【実施例】真空誘導溶解炉にて、表1に示す化学組成の鋼を溶製し、直径14.4mmの50kgインゴットとした。鋼記号A~Oが本発明鋼、記号1~16が比較鋼である。

【0031】

【表1】

試験 番号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Ta	Mo	V	B	N	Al	Co	Ni	Cu	V	Nb	その他		Nb+1 /Ti <sub>B</sub>	A
																			Nd	の他		
A	0.307	0.26	0.50	0.008	0.001	10.47	1.01	-	0.2	-	3.01	0.0039	0.046	0.007	2.83	-	0.20	-	-	1.01	1.70	0.40
B	0.001	0.24	0.49	0.008	0.001	10.74	0.29	1.97	0.2	-	0.0040	0.041	0.006	2.46	0.32	0.48	0.21	-	0.29	0.41	1.92	1.41
C	0.009	0.27	0.50	0.008	0.001	10.34	0.83	1.97	0.2	-	0.0059	0.032	0.005	2.13	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0.010	0.23	0.50	0.008	0.001	10.42	0.76	0.09	1.75	0.0058	0.055	0.007	2.82	-	-	0.18	-	-	0.81	1.06	1.66	0.54
E	0.011	0.25	0.48	0.010	0.001	10.44	0.62	2.07	0.4	1.53	0.0051	0.022	0.005	2.88	-	-	-	-	-	-	3.29	1.91
F	0.011	0.25	0.51	0.009	0.001	10.50	2.04	2.50	-	0.0044	0.015	0.003	4.91	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-
G	0.043	0.24	0.47*	0.009	0.001	10.35	1.94	-	0.1	-	0.0049	0.012	0.006	2.84	-	-	0.02	0.03	-	1.94	1.50	-
H	0.068	0.24	0.50	0.009	0.001	10.85	1.52	1.93	0.9	-	0.0050	0.033	0.005	2.92	-	-	-	-	-	-	2.04	1.07
I	0.096	0.24	0.51	0.009	0.001	10.25	0.31	0.52	0.2	-	0.0050	0.024	0.007	-	0.11	0.63	-	0.03	-	-	0.57	1.76
J	0.100	0.26	0.47	0.005	0.001	10.45	0.92	1.10	-	1.06	0.0045	0.029	0.007	2.89	-	-	0.20	0.05	-	1.17	1.33	-
K	0.008	0.27	0.46	0.009	0.001	10.38	0.98	-	0.3	2.63	0.0050	0.005	0.006	-	0.14	1.01	-	0.23	-	-	0.98	0.29
L	0.070	0.24	0.51	0.008	0.001	10.94	0.41	-	2.50	0.0060	0.008	0.005	5.07	-	-	0.20	-	-	-	-	0.41	0.69
M	0.083	0.24	0.47	0.009	0.002	12.01	1.85	0.50	1.49	-	0.0044	0.010	0.006	3.90	-	-	0.20	-	-	2.10	0.94	-
N	0.068	0.26	0.52	0.008	0.001	9.04	1.98	-	0.9	-	0.0040	0.049	0.006	-	0.35	0.90	-	0.20	-	-	Ca:0.003	1.98
O	0.099	0.27	0.48	0.009	0.001	8.96	2.61	0.08	-	2.04	0.0054	0.021	0.007	4.02	-	-	0.18	0.04	Yt:0.31	2.65	0.28	
P	-	0.010	0.25	0.47	0.009	0.001	10.63	0.10*	0.05	-	3.61	0.0047	0.058	0.006	3.05	-	-	0.19	0.03	-	0.13	-0.05*
Q	2	0.030	0.23	0.52	0.008	0.001	0.95	0.59	0.03	0.1	3.90	0.0058	0.025	0.006	4.50	-	-	0.19	-	-	0.41	-0.11*
R	3	0.100	0.23	0.46	0.009	0.001	9.26	0.72	0.10	2.2	0.40	0.0063	0.039	0.008	2.90	-	-	0.19	-	-	0.77	-0.46*
S	4	0.143*	0.26	0.48	0.009	0.001	10.67	3.30*	0.55	-	3.15	0.0049	0.025	0.007	2.99	-	-	0.19	-	-	3.58*	-0.70*
T	5	0.049	0.24	0.49	0.009	0.001	10.32	2.78	1.78	-	2.81	0.0062	0.024	0.006	2.98	-	-	0.22	0.08	-	3.68*	-0.57*
U	6	0.018	0.24	0.49	0.010	0.001	10.04	1.13	0.08	0.6	0.50	0.0046	0.032	0.006	-	0.20	1.21	0.62*	-	-	1.17	1.01
V	7	0.069	0.26	0.50	0.008	0.001	10.49	0.70	4.30*	-	1.98	0.0054	0.047	0.006	3.06	-	-	0.22	-	-	2.65	-0.22*
W	8	0.059	0.23	0.46	0.009	0.002*	10.02	0.76	0.20	-	4.30*	0.0044	0.031	0.006	4.60	-	-	0.19	-	-	0.33	-0.05*
X	9	0.098	0.26	0.47	0.003*	0.001	10.27	0.37	0.03	0.22	-	0.0044	0.058	0.008	6.30*	-	-	0.19	-	-	0.38	-0.05*
Y	10	0.030	0.26	0.52	0.009	0.001	10.76	0.30	-	3.61	0.0043	0.054	0.005	-	0.53	0.036	1.30*	-	-	2.11	0.78	
Z	11	0.096	0.27	0.53	0.008	0.001	11.21	1.12	0.24	-	1.50	0.0044	0.058	0.036	-	0.13	-	-	-	-	1.24	0.64
A	12	0.101	0.24	1.65*	0.010	0.001	6.42*	0.88	0.09	0.1	0.50	0.0059	0.037	0.006	3.07	-	-	0.20	-	-	0.94	1.56
B	13	0.520	0.25	0.53	0.008	0.001	5.20*	1.06	0.88	0.76	-	0.0058	0.059	0.037	2.34	-	-	0.23	-	-	1.50	1.00
C	14	0.120	0.25	0.47	0.008	0.001	10.36	1.55	0.25	-	3.10	0.0130*	0.043	0.005	2.82	-	-	0.19	0.04	-	2.08	-0.01*
D	15	0.220	0.24	0.50	0.008	0.001	10.69	1.36	1.87	0.3	0.87	0.0065	0.050	0.006	2.89	-	-	0.23	-	-	2.30	0.72
E	16	0.101	0.25	0.45	0.010	0.001	10.47	0.63	0.05	0.6	0.96	0.0052	0.120*	0.007	2.92	-	-	0.21	-	-	0.66	-0.12*

A: 2.5 × (Nb<sup>\*</sup> / 2)<sup>1/2</sup> a<sup>1/2</sup> - 0.6(Nb<sup>\*</sup> / 2)<sup>1/2</sup> a<sup>1/2</sup> - M<sup>\*</sup> / 2<sup>1/2</sup> a<sup>1/2</sup>)

\* 本発明で規定する範囲外を示す

これらのインゴットを熱間鍛造後、熱間圧延によって 20 mm 厚の鋼板とした。次いで、1050°Cで1時間保持した後空冷 (AC) し、さらに780°C以下で1時間保持して空冷 (AC) する焼戻し処理をおこなった。

### (1) クリープ破断試験

試験片： 直径 6.0 mm

標点間距離 30 mm

試験温度： 650°C

負荷応力： 110 MPa および 90 MPa

クリープ破断特性： 下記式により求めた、試験温度 650°C での  
クリープ破断時間比

熱処理後の鋼板からクリープ破断試験片、抽出レプリカを作成し、下記する条件でクリープ破断試験、析出物の EDX 分析を行った。

【0032】

(応力負荷90MPaでの破断時間) / (応力負荷110MPaでの破断時間)  
については $650^{\circ}\text{C} \times 110\text{ MPa}$ および $650^{\circ}\text{C} \times 90\text{ MPa}$ のクリープ破断寿命比で評価した。

【0033】(2) EDX分析 (Energy Dispersive X-Ray Analysis)

抽出レプリカ作成後、透過型電子顕微鏡による金属間化合物の観察およびEDX分析による金属間化合物中のNb量同定を実施。これらの試験で測定したクリープ破断時間を表2に示す。また、金属間化合物の観察、EDX分析結果も表2に示した。

【0034】

【表2】

表2		
符号	クリープ破断時間比	金属間化合物
A	5.0	○
B	3.9	○
C	4.2	○
D	4.7	○
E	5.8	○
F	4.5	○○
G	5.8	○○
H	4.3	○○○
I	4.1	○○○
J	3.8	○○○○
K	3.6	○○○○
L	5.5	○○○○○
M	5.0	○○○○○
N	5.4	○○○○○○
O	3.7	○○○○○○○
1	2.4	×
2	2.3	×
3	2.2	×
4	1.7	×
5	2.2	×
6	2.2	×
7	1.9	×
8	1.7	×
9	1.8	○
10	1.8	○○
11	2.1	○○○
12	2.2	○○○○
13	1.9	○○○○○
14	1.6	○○○○○○
15	2.1	○○○○○○○
16	2.3	○○○○○○○○

表中の金属間化合物の評価は、金属間化合物が確認されなかった場合、金属間化合物中のNb + 1/2Ta含有量が1%未満であった場合、または抽出レプリカを1000倍で5視野観察し、粒径3.5μm以上の粗大な金属間化合物が1つ以上認められた場合を×、金属間化合物中のNb含有量が1%以上で顕著な粗大化が見られなかった場合(粒径3.5μm以上の金属間化合物が認められなかった場合)を○とした。

【0035】表2から明らかなように、比較鋼1～16の $650^{\circ}\text{C} \times 110\text{ MPa}$ と $650^{\circ}\text{C} \times 90\text{ MPa}$ の破断時間比が2.5以下であるのに対し、本発明鋼A～Oの $650^{\circ}\text{C} \times 110\text{ MPa}$ と $650^{\circ}\text{C} \times 90\text{ MPa}$ の破断時間比が3.5以上に維持されており、長時間低応力側でのクリープ強度が安定に維持されている。

【0036】

【発明の効果】本発明の高Crフェライト系耐熱鋼は、625°C以上の高温下で高温長時間クリープ強度に優れ、原子力発電や化学工業等の分野で用いられる熱交換用钢管、圧力容器用鋼板、タービン用材料として好適であり、産業の発展に寄与するところ大である。